

УДК 681.5(076.5)

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОПТИМИЗАЦИИ САУ УРОВНЯ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ АЭС

Волчкевич О.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

Улучшение качества поддержания уровня воды в барабане парогенераторов повышает безопасность работы АЭС[1]. В работе представлено сравнение каскадной САР(КСАР) с реальным корректирующим ПИД-регулятором, оптимизированным по методам ЕС[2] и инвариантной САР(ИСАР) при плановом изменении нагрузки с корректирующим ПИ-регулятором, настроенным по методу симметричного оптимума[3].

КСАР с реальным корректирующим ПИД регулятором, оптимизированным по методам ЕС:

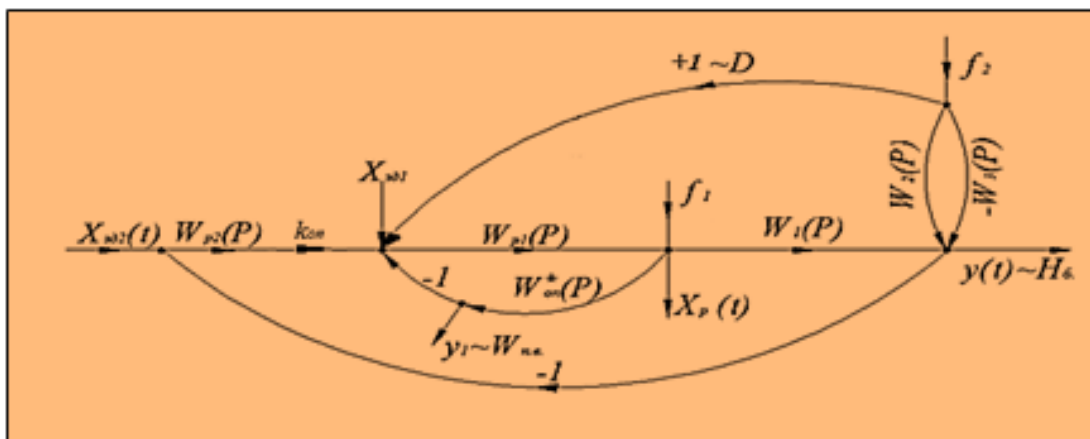


Рисунок 1. Структурная схема каскадной САР уровня воды в барабане парогенератора с оптимизацией корректирующего регулятора по методам ЕС [2]

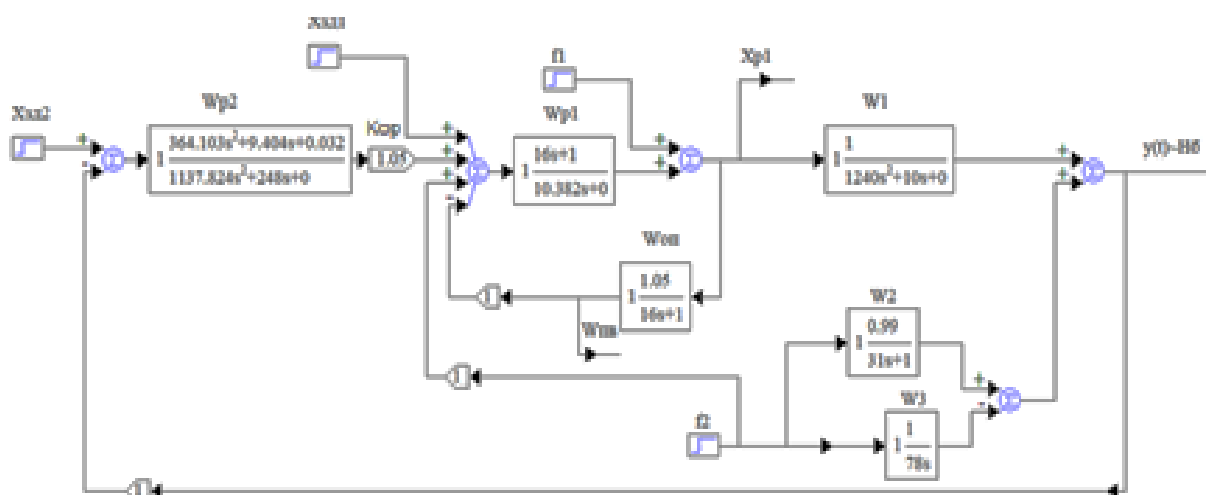


Рисунок 2. Структурная схема моделирования КСАР

На схеме обозначены:

- $y(t)$ – основная регулируемая величина (Нб-уровень воды в парогенераторе);

- x_{301} – заданное значение регулируемого параметра;
- x_{302} – заданное значение корректирующего регулятора;
- $f_1(t)$ – внутреннее возмущение;
- $x_p(t)$ – регулирующее воздействие;
- $W_{f2}(p) = W_2(p) - W_3(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1} - \frac{1}{T_3 p}$, – передаточная функция крайнего

внешнего возмущения, с явлением “набухания” уровня при возмущении расхода перегретого пара;

- $W_1(p) = \frac{1}{T_1 p (\tau_1 p + 1)}$ – передаточная функция объекта регулирования по

каналу регулирующего воздействия;

- $W_{on}^*(p) = \frac{k_{on}^*}{T_{on} p + 1}$ – передаточная функция опережающего участка;

- $W_{p1}(p) = \frac{T_{on}^* p + 1}{k_{on} T_{30n} p}$ – передаточная функция стабилизирующего ПИ

регулятора (СР);

- $W_{p2}(p) = \frac{k_{p2} \cdot (Tu_2 p + 1) \cdot (T\partial_2 p + 1)}{Tu_2 p \cdot (T\delta p + 1)}$ – передаточная функция корректирующего

ПИД регулятора (КР), где:

k_{p2} – коэффициент передачи;

Tu_2 – время интегрирования, с;

$T\partial_2$ – время дифференцирования, с;

$T\delta = \frac{T\partial_2}{10}$ – балансная постоянная времени ПИД регулятора, с.

Для сравнения выбираем метод ЕС-2005, т.к. он показал наилучшие результаты.

ИСАР при плановом изменении нагрузки и настройке корректирующего ПИ-регулятора по методу симметричного оптимума с корректором в цепи задания

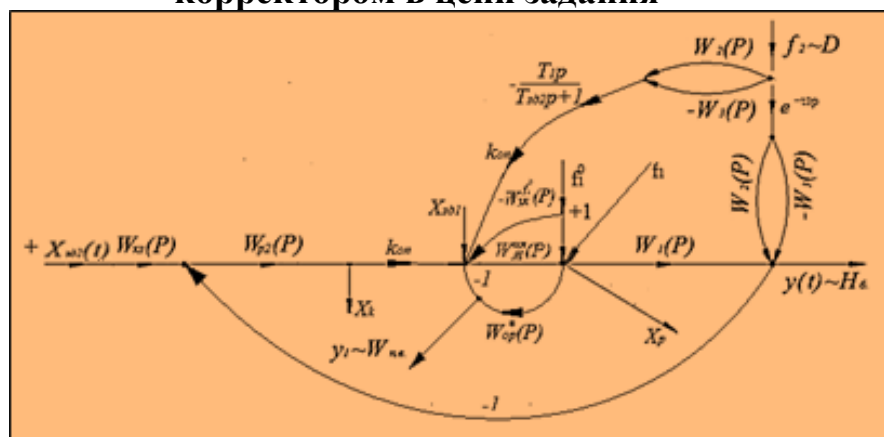


Рисунок 3. Структурная схема ИСАР при плановом изменении нагрузки и настройке корректирующего ПИ-регулятора, настроенным по методу симметричного оптимума [3]

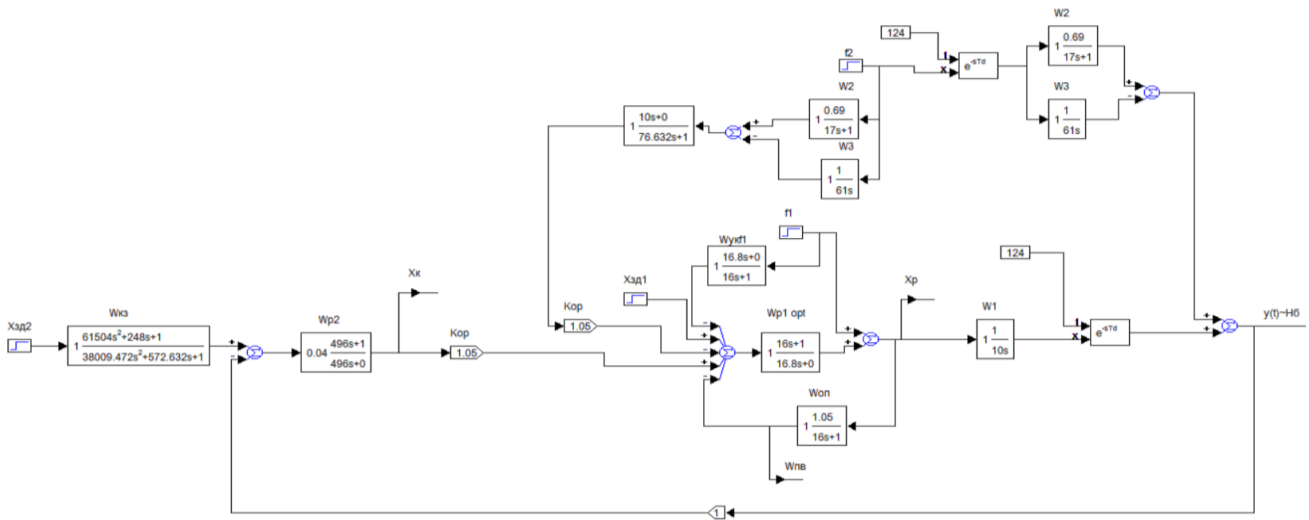


Рисунок 4. Структурная схема моделирования ИСАР

На схеме обозначены:

- $y(t)$ – основная регулируемая величина;
- $x_{3\partial 2}$ – заданное значение корректирующего регулятора;
- f_1^0 – наиболее опасное внутреннее возмущение;
- $W_{кз}(p) = \frac{4\tau_1^2 p^2 + 2\tau_1 p + 1}{(4\tau_1 p + 1)(T_{3\partial 2} p + 1)}$, – передаточная функция корректора задания,

где $T_{3\partial 2} = \tau_1 \cdot \gamma$. Здесь γ принадлежит ряду чисел правила золотого сечения $[0,618; 0,382 \dots 0,09]$;

- $W_{p2}(p) = \frac{k_{p2}(T_{u2} p + 1)}{T_{u2} p}$, – передаточная функция корректирующего ПИ-регулятора;

- $W_{ук}^{f_1^0}(p) = -\frac{1}{W_{p1}^{opt}(p)}$, – передаточная функция устройства компенсации

наиболее опасного внутреннего возмущения;

- $W_{p1}^{opt}(p) = \frac{T_{on}^* p + 1}{k_{on} T_{on}^* p}$, – передаточная функция оптимального

стабилизирующего регулятора, который с дополнительным усилителем k_{on} между выходом корректирующего и входом стабилизирующего регулятора превращает внутренний контур стабилизирующего регулятора в усилитель с коэффициентом передачи $k = 1$;

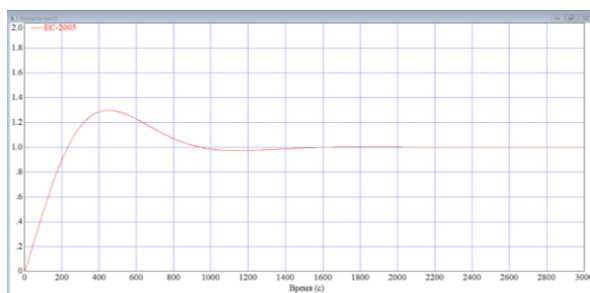
- $W_1(p) = \frac{e^{-\tau_1 p}}{T_1 p}$, – передаточная функция объекта регулирования;

- $W_{on}^*(p) = \frac{k_{on}}{T_{on}^* p + 1}$, – передаточная функция опережающего участка.

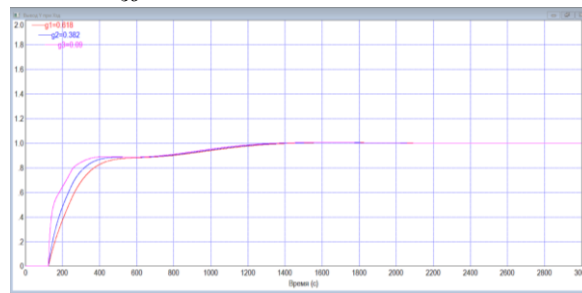
Для сравнения выбираем процесс $\gamma = 0,382$, т.к. он показал наилучшие результаты.

Сравнение смоделированных переходных процессов КСАР с реальным ПИД-регулятором, оптимизированным по методу ЕС-2005 и ИСАР при плановом изменении нагрузки и настройке корректирующего ПИ-регулятора по методу симметричного оптимума:

$y(t)$ при обработке x_{30} :

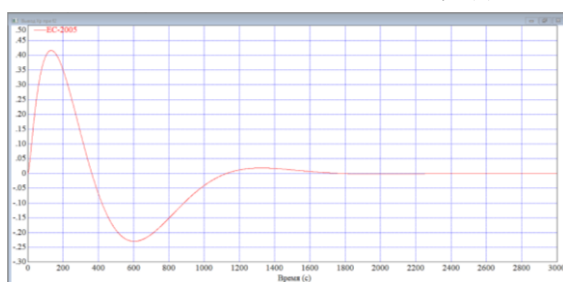


а).

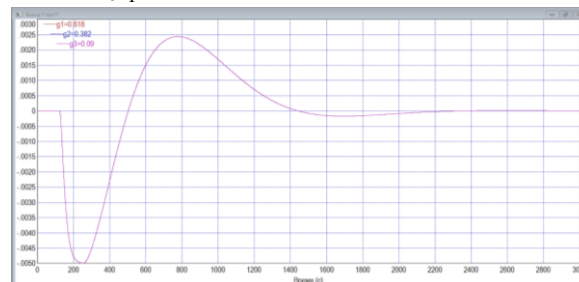


б).

$y(t)$ при обработке f_1 :

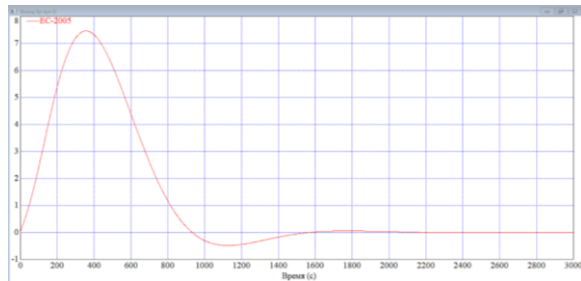


а).

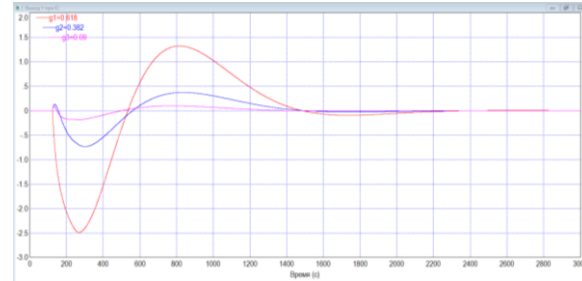


б).

$y(t)$ при обработке f_2 :

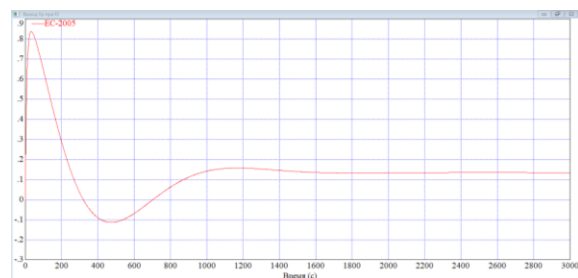


а).

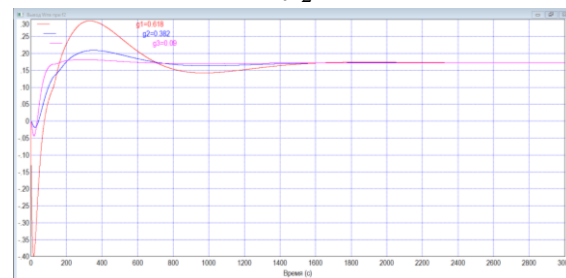


б).

Расход питательной воды ($W_{пв}$) при обработке f_2 :



а).



б).

Рисунок 5. Графики переходных процессов: а). КСАР с реальным ПИД-регулятором, оптимизированным по методу ЕС-2005 [2, стр.529] ($k_{p2} = 0,07$; $T_{u2} = 310$ с; $T_{d2} = 68,2$ с;

$T_{\delta} = \frac{T_{d2}}{10} = 6,82$ с); б). ИСАР при плановом изменении нагрузки и настройке корректирующего

ПИ- регулятора по методу симметричного оптимума

Сравнение прямых показателей качества:

Таблица 1

Прямые показатели качества(ППК) КСАР с корректирующим реальным ПИД-регулятором, оптимизированным по методу ЕС-2005

Основные возмущения	t_p, c	$\sigma_m, \%$	ψ	A_{max1}
y, x_{302}	1542	30	-	-
y, f_1	1736	-	0.95	0.42
y, f_2	1627	-	-	7.48
$W_{пв}, f_2$	1787	-	0.96	0.84

Где: y, x_{302} – график изменения основной регулируемой величины при возмущении заданием; y, f_1 – график изменения основной регулируемой величины при внутреннем возмущении; y, f_2 – график изменения основной регулируемой величины при крайне внешнем возмущении; $W_{пв}, f_2$ – график изменения расхода питательной воды при крайне внешнем возмущении.

Здесь приняты следующие обозначения ППК: t_p – время регулирования, с; σ_m – перерегулирование, %; ψ – степень затухания; A_{max1} – максимальная динамическая ошибка регулирования.

Таблица 2

Прямые показатели качества ИСАР при плановом изменении нагрузки и настройке корректирующего ПИ-регулятора по методу симметричного оптимума

Основные возмущения	t_p, c	$\sigma_m, \%$	ψ	A_{max1}
y, x_{302}	1181	–	1	–
y, f_1	1615	–	1	- ,005
y, f_2	1458	–	1	- 0,6
$W_{пв}, f_2$	1216	–	1	0,20

При сравнении полученных графиков и прямых показателей качества переходных процессов было выявлено, что лучшей является ИСАР при плановом изменении нагрузки и настройке корректирующего ПИ-регулятора по методу симметричного оптимума (см. таблица 1,2), т.к. она обеспечивает минимальные динамические отклонения при отработке внутреннего и внешнего возмущения. При этом достигается минимальное регулирующее изменение расхода питательной воды($W_{пв}$) при возмущении расходом пара. Кроме того, при отработке скачка задания корректирующего регулятора: время

регулирования уменьшается на 22%, а максимальная величина перерегулирования полностью исчезает.

Литература

1. Демченко В.А. Автоматизации и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС: учебной пособие/ В.А.Демченко.-Одесса: “Астропринт”, 2001.- 301 с.
2. Aidan O'Dwyer. Handbook of PI and PID controller Tuning Rules/ O'Dwyer Aidan.- Dublin: Institute of Technology; Ireland, Imperial College Press, 2009.- 529 p.
3. Кулаков Г.Т. Система автоматического управления уровнем парогенераторов АЭС на базе контура регулирования со сглаживанием задающего сигнала/ Г.Т.Кулаков, С.М.Сацук, А.Н.Кухоренко//доклады БГУИР.- 2018.-№1(111).- с.72-77.